



RESERVATÓRIOS DE QUALIDADE E QUANTIDADE: ESTUDO DE CASO DE SANTA MARIA-DF

*Gabriela Restucci Paranayba*¹; *Maria Elisa Leite Costa*²; *Davi Navarro de Almeida*³; *Sérgio Koide*⁴

RESUMO – Reservatórios de qualidade e quantidade são dispositivos de controle de escoamento que têm por objetivo melhorar a qualidade da água e amortizar vazões de pico lançadas ao corpo receptor. O presente estudo tem como objetivo analisar o desempenho de reservatórios de qualidade e quantidade, localizados em Santa Maria – DF e seus respectivos dispositivos hidráulicos por simulação de eventos críticos utilizando o PCSWMM. Neste artigo foi escolhido o método SCS para a estimativa do volume de escoamento superficial, utilizando o parâmetro CN. O reservatório de quantidade apresentou um bom desempenho no amortecimento da vazão de pico que correspondeu a 74,44% do limite da vazão de quantidade estabelecido pela Resolução da Adasa, entretanto não atendeu a vazão máxima permitida de qualidade. Ao limitar as vazões de saída pelas máximas permitidas pela legislação local, foi possível calcular novos volumes dos reservatórios. O volume de qualidade seria 87,74% menor e o de quantidade 3,68% menor e isso pode indicar que os reservatórios estão superdimensionados. O estudo mostrou a necessidade de avaliação criteriosa no dimensionamento dessas estruturas, de grande porte, alto custo e de forte impacto ambiental.

ABSTRACT – Retention and detention ponds are runoff control devices designed to improve water quality and soften peak flows released into the recipient body of water. The present study has the objective of analyzing the performance of retention and detention ponds in Santa Maria, Federal District, Brazil and their respective hydraulic devices via critical event simulation using PCSWMM. For this article, the SCS method was chosen to estimate the volume of surface runoff using the CN parameter. The detention pond softened the peak flow to 74,44% of the maximum peak flow, meeting the limit imposed by local regulations, however the retention pond did not meet the maximum permitted flow. Upon limiting outflows to the maximum permitted level in PCSWMM, it was possible to calculate new pond volumes. The retention pond would be 87.74% smaller and the detention pond would be 3.68% smaller, indicating that the ponds are oversized. The study showed the need to better evaluate the design of these large and high cost structures of significant environmental impact.

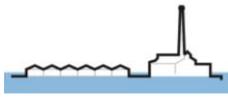
Palavras-Chave – dimensionamento, drenagem urbana, SWMM.

1) Graduanda da Engenharia Ambiental da UnB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF. gabrielaparanayba@gmail.com.

2) Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF. mariaelisaleitecosta@hotmail.com.

3) Engenheiro Civil da Rhumb, davinavarro@gmail.com.

4) Professor do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF. skoide@unb.br.



INTRODUÇÃO

O crescimento dos centros urbanos impacta o ambiente de tal forma que o ciclo natural da água sofre alterações locais, já que boa parte das áreas sofrem desmatamento para construção de edifícios e parcela considerável do solo é impermeabilizada por pavimentos. Isso implica na redução da infiltração no solo, no aumento do escoamento superficial e nas vazões de pico.

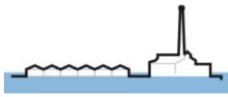
O escoamento superficial é coletado por redes de drenagem, que levam esse excedente a jusante da área urbana. No entanto, essas redes nem sempre são suficientes ou mantidas em condições para captar todo o excedente precipitado. O escoamento também ocorre pelas vias que sofrem a lavagem superficial e, por consequência, leva consigo poluentes ao corpo hídrico receptor da rede. Como forma de melhorar a qualidade da água e amortizar vazões de pico lançadas ao corpo receptor, alguns dispositivos de controle de escoamento podem ser utilizados e nesse trabalho serão abordados reservatórios de qualidade e quantidade, também conhecidos como lagoas de retenção e detenção, respectivamente.

O reservatório de quantidade retém temporariamente a água coletada nas redes de drenagem, e sua vazão efluente é menor que a afluenta, sendo projetados para o esvaziamento completo após um evento de chuva (Adasa, 2018). O de qualidade, além de amortecer os picos de vazão, tem como objetivo melhorar a qualidade da água antes do lançamento ao corpo receptor.

Quando o escoamento entra em um reservatório de quantidade, é temporariamente armazenado e escoado pelo orifício de saída. Isso indica que o pico da vazão de saída é menor que o da entrada. Essa redução do pico é denominada de atenuação, e o procedimento para computar o hidrograma de saída, quando o de entrada é conhecido, denomina-se *routing*. Esse termo descreve um procedimento matemático, e um dos métodos mais conhecidos é o Método de Puls Modificado (Gribbin, 2006). O método de *routing* é baseado numa equação de continuidade que leva em consideração a conservação de massa da água entrando e saindo do reservatório.

A Resolução da Adasa nº 9/2011 recomenda a utilização desses reservatórios no Distrito Federal quando for necessário melhorar a quantidade e qualidade das águas drenadas, se não for possível fazer medidas de controle na fonte. Outro aspecto importante a respeito dessa resolução é a vazão máxima de quantidade para lançamento em corpo hídrico correspondente a 24,4 L/s.ha – um fator determinante para o dimensionamento dos reservatórios (Adasa, 2011). A vazão máxima de qualidade também é expressa nessa resolução como função do volume do reservatório de qualidade.

Para tal dimensionamento, utiliza-se a simulação hidrológica que é essencial para o manejo das águas pluviais, pois possibilita a análise das vazões de cheia, níveis e áreas de inundação, como também medidas mitigadoras de problemas locais. A simulação também pode ser utilizada para



planejamento de ocupação de novas áreas (Righetto, 2009). O *Storm Water Management Model – SWMM* (Rossman, 2016) é um modelo hidráulico-hidrológico que calcula a quantidade e qualidade do escoamento na rede de drenagem de cada sub-bacia, assim como o hidrograma de entrada e vazão de saída de reservatórios de quantidade.

O PCSWMM desenvolvido pela *Computational Hydraulics International* é composto pelos mesmos modelos e conceitos do SWMM, mas possui uma interface que apresenta maior facilidade para o usuário quanto à entrada de dados e visualização dos resultados. Ele é amplamente utilizado para gestão de águas pluviais urbanas (PCSWMM, 2019). O PCSWMM fornece ferramentas inovadoras para modelagem de sistemas com precisão, para análise e desenho de projetos de drenagem. A possibilidade de processar um ilimitado tamanho de redes e de número de estruturas de controle de escoamento são alguns de seus aspectos vantajosos. Incluem-se ainda a facilidade em determinar o tamanho e as configurações de um reservatório de quantidade e suas respectivas estruturas hidráulicas necessárias para o controle do escoamento e da qualidade da água (PCSWMM, 2019).

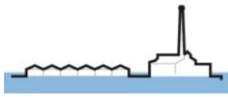
O sistema de drenagem pluvial do Lago Norte – DF foi analisado por Araújo (2018), onde foram verificadas falhas na rede de drenagem por meio da análise com o SWMM. Feito isso, buscou-se medidas compensatórias para mitigar os pontos que apresentavam extravasamento. Ao utilizar o SWMM, Araújo (2018) concluiu que essas medidas contribuíram para a redução do volume total de extravasamento para tempo de retorno entre um e cinco anos.

Volken (2018) fez a simulação quantitativa da rede de drenagem e do reservatório de quantidade localizado na região administrativa do Guará no DF utilizando o PCSWMM. Para um tempo de retorno de 10 anos, ela pôde observar o abatimento médio dos picos de vazão pelo reservatório chegou a 96,7%; a vazão efluente corresponde a apenas 10,4% da vazão máxima permitida pela Resolução da Adasa nº 9/2011, o que é atribuído ao superdimensionamento desse reservatório.

O presente estudo tem como objetivo analisar o desempenho de reservatórios de qualidade e quantidade em atendimento a Resolução local e seus respectivos dispositivos hidráulicos por simulação de eventos críticos utilizando o PCSWMM, assim como propor modificações para melhorar o desempenho.

METODOLOGIA

Os reservatórios de qualidade e quantidade em estudo pertencem ao condomínio Porto Pilar estão localizados em Santa Maria no Distrito Federal (Figura 1). O projeto executivo desses reservatórios foi realizado em setembro de 2012 devido à necessidade de atender à vazão máxima de



lançamento no Ribeirão Santa Maria. A área do condomínio é de 81,18 ha e a de contribuição é 79,36 ha para os reservatórios. O reservatório de quantidade possui um volume de 32.565 m³, e o de qualidade, de 11.650 m³, com funcionamento em série. O projeto executivo denomina o primeiro reservatório como de quantidade e o segundo como de qualidade, no entanto neste estudo os reservatórios serão analisados conforme a ordem de funcionamento estabelecida pela Adasa, ou seja, primeiro o de qualidade e segundo o de quantidade.

O sistema de drenagem se divide em 2 redes principais que lançam o escoamento no reservatório de qualidade (Figura 2).

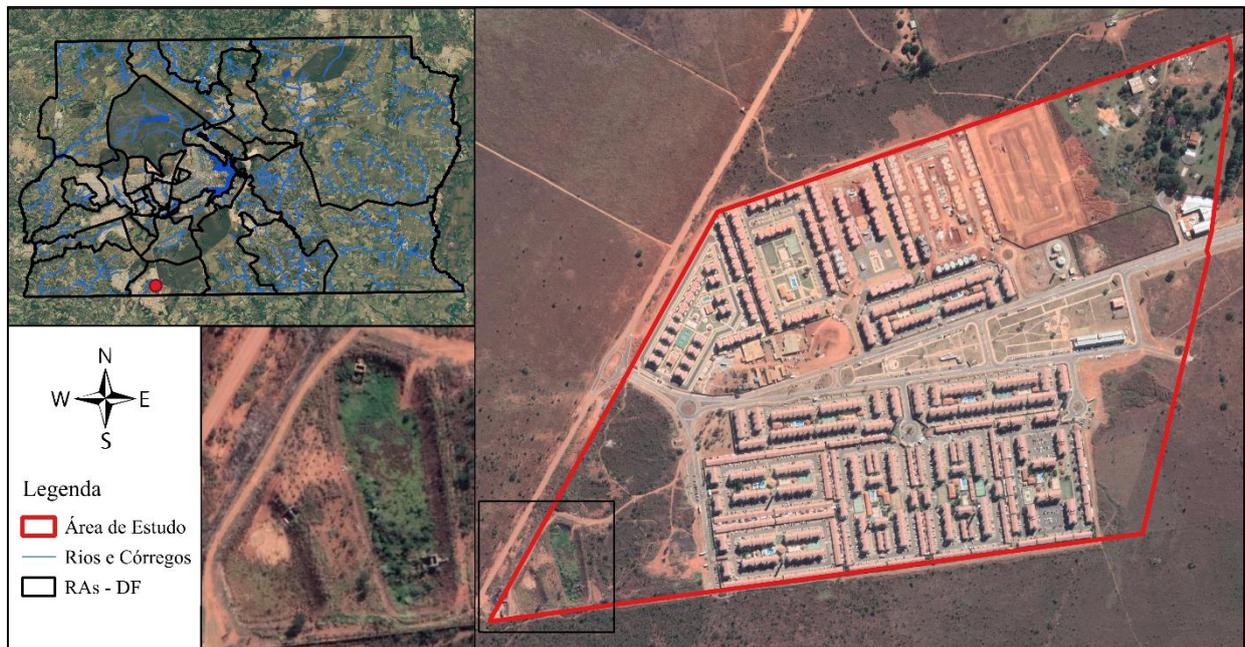
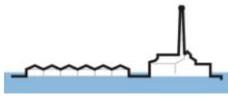


Figura 1 – Localização da Área de Estudo

Algumas características dos reservatórios são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos Reservatórios

Reservatório	Qualidade	Quantidade
Volume	32.565 m ³	11.650 m ³
Área da base	5.070 m ²	2.588 m ²
Declividade dos taludes	1:1,5	1:1,5
Profundidade	5,32 m	3,7 m
Dispositivos de entrada	Dissipador A4 com tubulação de entrada D = 1,2 m (Entrada 1) e D = 1,5 m (Entrada 2)	Dissipador A4 com tubulação de 1,65 x 1,65 m
Dispositivos de descarga		
Tubulação	Diâmetro = 0,6 m	Diâmetro = 0,6 m
Vertedor Tulipa	Seção = 1 x 1 m	Seção = 1 x 1 m
	Altura = 5,12 m	Altura = 3,5 m



Para a simulação no PCSWMM, é necessária a entrada de parâmetros para modelagem como a precipitação, infiltração e volume de escoamento superficial. A definição das sub-bacias é um fator importante. A análise será feita com eventos de precipitação críticos por meio da curva de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) do DF e, então, gerando um hietograma pelo método dos blocos alternados. A infiltração e o volume de escoamento superficial foram simulados pelo método SCS que se baseia em um parâmetro, CN (Curva Número), que relaciona as características de ocupação da bacia e tipo de solo. Lombardi-Neto *et al.* (1989) classificou os tipos de solo do DF em Grupos Hidrológicos para utilização do método SCS. Segundo ele, o Latossolo Vermelho, tipo de solo da área em estudo, enquadra-se no Grupo Hidrológico A. A evaporação potencial e umidade antecedente foram desconsideradas. O escoamento superficial também depende da declividade do terreno que a qual faz parte dos dados de entrada no PCSWMM.

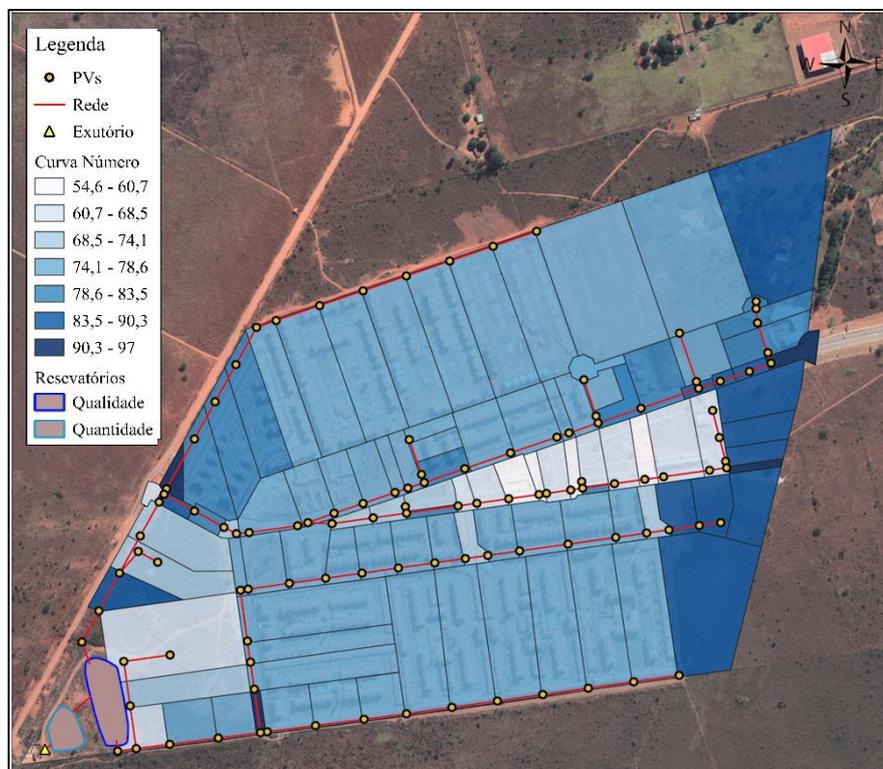
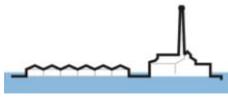


Figura 2 - CN das Áreas de Contribuição dos Reservatórios

A Resolução da Adasa nº 9/2011 estabelece que o reservatório de qualidade é pré-dimensionado pela equação 1 e a vazão máxima de saída para o reservatório de qualidade pela 2:

$$V_{qa} = (33,8 + 1,8 \cdot A_i) \cdot A_c \quad (1)$$

$$Q = V_{qa} / 86,4 \quad (2)$$



Onde V_{qa} é volume em m^3 ; A_i , o percentual de área impermeável do terreno, e A_c , a área de contribuição do empreendimento em há e Q é L/s. O lançamento no corpo hídrico limitado à vazão máxima específica de 24,4 L/s.ha.

RESULTADOS

A vazão máxima de qualidade de acordo com essa Resolução é de 0,147 m^3/s . Ela foi simulada para uma precipitação de 22,5 mm já que estima-se que as precipitações na região de Brasília são iguais ou menores a 22,5 mm no período chuvoso (Adasa, 2018). Dessa forma vazão de saída do reservatório de qualidade foi de 0,482 m^3/s a qual está em desacordo com o limite estabelecido.

A Figura 3 apresenta o abatimento do pico de vazão para um TR de 10 anos, a vazão de saída do sistema de reservatórios corresponde a 7% do valor da vazão de pico de entrada. A vazão de quantidade permitida pela Resolução da Adasa é de 1,98 m^3/s e vazão de saída é 1,13 m^3/s a qual está dentro do limite.

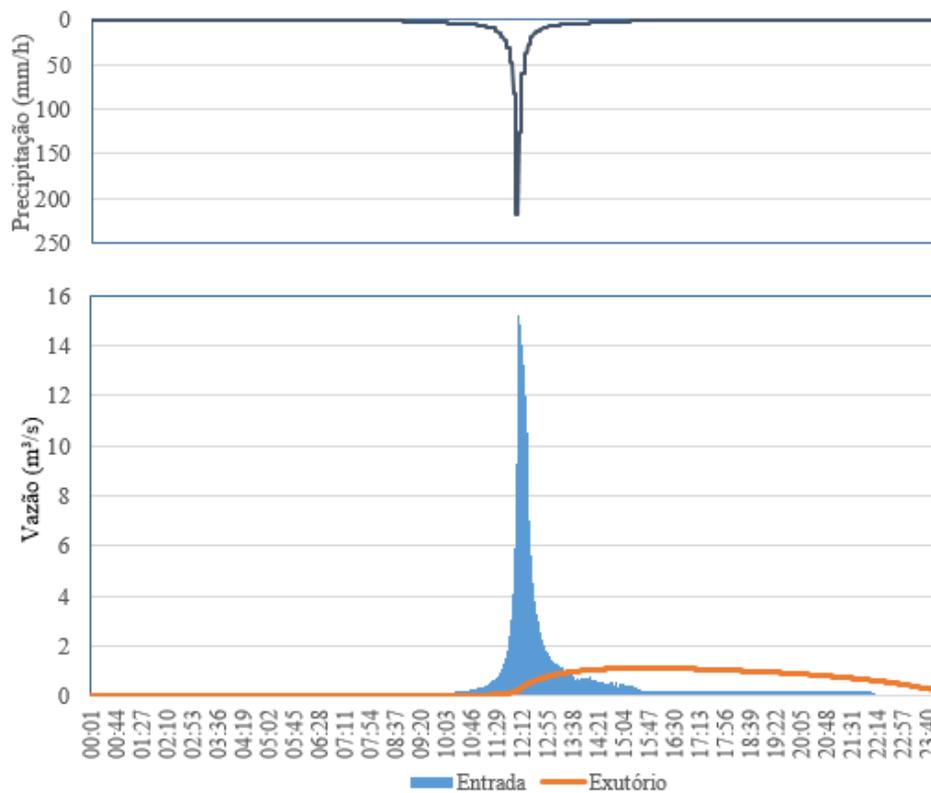
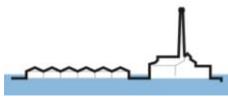


Figura 3 - Vazão de entrada no sistema de reservatórios e no exutório para uma precipitação com tempo de retorno de 10 anos



A Tabela 2 apresenta o abatimento das vazões de pico do sistema de reservatórios e o nível d'água máximo em relação à altura do vertedor de cada reservatório. Em nenhum dos TR houve vertimento.

Tabela 2 - Amortecimento das vazões de pico do sistema e nível d'água dentro dos reservatórios

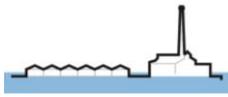
TR anos	Abatimento da vazão de pico	Qualidade	Quantidade
		Nível d'água/ Altura do vertedor	Nível d'água/ Altura do vertedor
1	93%	43%	40%
2	93%	54%	49%
5	93%	67%	58%
10	93%	76%	64%
25	92%	86%	71%
50	91%	88%	73%
100	91%	89%	75%

Percebe-se que os reservatórios não atingem as alturas máximas, ou seja, eles estão claramente superdimensionados, o que prejudica o uso deles no DF, tendo em vista que demandam grandes áreas.

Outra análise é que o reservatório de qualidade não está funcionando como deveria, pois seria necessário seu enchimento para que houvesse mais tempo de sedimentação e conseqüentemente mais acúmulo de sedimentos ao fundo da bacia. E se numa chuva de TR=10 anos somente 76% da lâmina é preenchida, o reservatório deve estar esvaziando rapidamente, o que prejudica a sedimentação.

Devido aos fatores de não cumprimento da vazão de qualidade e o superdimensionamento, algumas alterações foram propostas para o reservatório de qualidade. A primeira alteração na simulação foi de reduzir o diâmetro do orifício de forma que a vazão respeite o limite da vazão de qualidade de 0,147 m³/s para precipitação de 22,5 mm. A segunda alteração foi de colocar o vertedor logo acima da altura máxima para a precipitação de 22,5 mm e com dimensões que faça verter toda a vazão para a uma chuva com TR = 10 anos.

Com essas diferentes alternativas, criou-se 3 diferentes cenários para análise. O Cenário 1 consiste na simulação dos reservatórios com os dispositivos de acordo com o projeto executivo, o Cenário 2 conforme a primeira alteração e o Cenário 3 a combinação da primeira e a segunda alteração. A primeira alteração diminuiu a tubulação do reservatório de qualidade de 600 mm para 280 mm e a segunda colocou o vertedor a uma altura de 0.78 m com uma seção de 1 x 5 metros. A Tabela 3 apresenta os resultados dos diferentes cenários.



XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas

Outubro/2020 – Porto Alegre/RS

Tabela 3 – Resultados dos Cenários

Vazões limite - Adasa		Resultados					
Qualidade	Quantidade	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
		Qual.	Quant.	Qual.	Quant.	Qual.	Quant.
0,147 m ³ /s	1,980 m ³ /s						
Precipitação de 22,5 mm							
Nível d'água/ Altura do vertedor		12.70%	9.97%	14.92%	6.86%	97.91%	6.49%
% de Volume Excedente		89.61%	92.09%	87.74%	94.59%	87.74%	94.59%
% Vazão limite de qualidade		327%	-	95.24%	-	95.24%	-
Precipitação com TR de 10 anos							
Nível d'água/ Altura do vertedor		75.72%	63.54%	88.59%	15.08%	318.97%	102.23%
% de Volume Excedente		30.57%	44.09%	16.82%	87.67%	57.43%	3.86%
% Vazão limite de quantidade		-	57.02%	-	18.59%	-	74.44%
% Vazão de entrada no sistema de reservatórios		92.56 %		97.58 %		89.31 %	

No Cenário 1 a vazão de qualidade é 327% a vazão permitida o que se atribui ao dimensionamento inadequado da tubulação de saída resultando no desrespeito do limite estabelecido, já a vazão de quantidade corresponde a 57.02% da máxima permitida. O volume excedente do reservatório de quantidade é de 44,09% para precipitação com TR de 10 anos.

No Cenário 2 a tubulação de saída do reservatório de qualidade é redimensionado, com isso a vazão de qualidade representa 92,24% do limite o que está em acordo com a Resolução da Adasa. Mesmo com essa adequação o nível d'água do reservatório chegou a 14,92% da altura do vertedor e o volume excedente foi de 87,74%. Essa porcentagem corresponde a um volume de 28.272 m³ inutilizados, isso demonstra que o reservatório de qualidade está superdimensionado. A vazão de quantidade fica limitada pela vazão de qualidade devido à redução da tubulação de saída de qualidade e o vertedor estar a 5,12 m do fundo do reservatório de qualidade. Para uma precipitação de 10 anos o reservatório de qualidade acumula água atingindo um nível de 88,59% da altura do vertedor, já que não há vertimento a única saída é pela tubulação de 280 mm. Portanto, o nível d'água para o reservatório de quantidade corresponde a, somente, 15,08% da altura do vertedor e o volume excedente a 87,67%.

Para o Cenário 3 a altura e as dimensões do vertedor de qualidade foram alterados, já que o objetivo desse reservatório é promover a melhoria da qualidade da água, ou seja, o volume gerado por precipitações maiores que 22,5mm devem verter para o reservatório de quantidade. A cota da tubulação de saída de qualidade é a mesma da cota de fundo do reservatório de quantidade e o reservatório de quantidade é menor que o de qualidade. Isso faz com que o funcionamento dele ocorra



de forma similar a vasos comunicantes e assim reservatório de quantidade interfere na vazão de saída do reservatório de qualidade.

Volken (2018) observou o abatimento médio dos picos de vazão de 96,7%, para uma precipitação com TR de 10 anos, um pouco superior ao amortecimento na área em estudo. Essa vazão correspondeu a apenas 10,4% da vazão máxima permitida enquanto o presente estudo correspondeu a 74,44% no Cenário 3. Essa diferença pode ser atribuída diferença das proporções entre a área de contribuição e o volume dos reservatórios, para cada metro quadrado e área de contribuição da bacia do Guará há 40m³ de reservatório, já em Santa Maria essa proporção equivale a 26 m³.

CONCLUSÕES

Ambos os reservatórios estão superdimensionados já que em nenhum momento teve extravasamento pelos vertedores e o nível d'água máximo foi de 89% da altura o vertedor do reservatório de qualidade e 75% da altura do vertedor de quantidade para uma precipitação com TR de 100 anos. Devido a isso e o desacordo com a vazão limite de qualidade propôs-se redução no diâmetro da tubulação do reservatório de qualidade de 600 mm para 280 e a mudança na altura do vertedor de 5,12 m para 0,78 m com uma seção de 1 x 5 m. Com essas alterações o reservatório de qualidade poderia ser 12,26% do volume atual e o de quantidade 96,14%. O reservatório de quantidade apresentou um bom desempenho no amortecimento da vazão de pico que correspondeu a 74,44% do limite da vazão de quantidade estabelecido pela Resolução da Adasa.

Portanto, o dimensionamento dessas estruturas deve ser reavaliado uma vez que são estruturas de grande porte, alto custo e grande impacto ambiental. Qualquer redução nas dimensões pode ser de interesse em todos esses aspectos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Computational Hydraulics International (CHI) por disponibilizar a licença do software PCSWMM.



REFERÊNCIAS

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas no Distrito Federal*. Brasília, DF: Superintendência de Drenagem Urbana, Adasa, 2018. v. I.

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. *Resolução nº 9, de 8 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais*. Brasília: Adasa, 2011.

Araújo, A. S. (2018). *Análise e proposição de medidas sustentáveis em drenagem urbana na região do Lago Norte – DF por meio de modelagem hidrológica-hidráulica*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 80 p.

Lombardi-Neto, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J.B. *Nova abordagem para o cálculo de espaçamento entre terraços*. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.

PCSWMM. *PCSWMM Applications*. Disponível em: <https://www.pcswmm.com/application/72315/detention-pond-design>. Acesso em: 2 dez. 2019.

Righetto, A. M. (2009). *Manejo De Águas Pluviais Urbanas*. Projeto PROSAB, Editora ABES, Rio de Janeiro, 396p.

Rossman, L. A. *Storm Water Management Model Reference Manual*. Vol. I – Hydrology, 2016.

Volken, N.J. (2018). *Avaliação hidráulica e hidrológica de bacias de retenção – Estudo de caso da bacia de retenção do Guará II – DF*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70 p.